

فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۷، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۱، شماره پیاپی ۱۰۶

S.A. Masoodian

سید ابوالفضل مسعودیان، استاد اقلیم‌شناسی دانشگاه اصفهان

E-mail: s.a.masoodian@geo.ui.ac.ir

شماره مقاله: ۸۶۷

شماره صفحه پیاپی ۱۸۳۴۰-۱۸۳۱۸

شناسایی گونه‌های هوای اصفهان*

چکیده

بررسی ۴۵ سال داده‌های دما، بارش، رطوبت جوی و باد ایستگاه همدید اصفهان به روش تحلیل خوشه‌ای بر پایه محاسبه فواصل اقلیدسی و روش ادغام وارد نشان داد که در اصفهان ۹ گونه هوا وجود دارد. این گونه‌ها عبارتند از: گونه سرد، یخبندان آرام؛ گونه سرد، یخبندان، خشک؛ گونه معتدل؛ گونه بسیار سرد، یخبندان، آرام، مه‌آگین؛ گونه سرد، بادی؛ گونه گرم و خشک؛ گونه بارش‌مند؛ گونه بادی؛ گونه بسیار گرم و خشک. تغییرات فصل در اصفهان به سبب پیدایش و میرش این گونه‌های هواست.

واژه‌های کلیدی: اقلیم‌شناسی همدید، گونه هوا، تحلیل خوشه‌ای.

پیشگفتار

در متون علمی آب و هواشناسی گاهی مفاهیم گونه هوا، گونه همدید و الگوی نقشه‌ای به جای هم به کار گرفته شده است. به سبب همین اختلاط معانی نخست می‌کوشیم تا اندکی مفهوم گونه هوا را از دیدگاهی که در این نوشتار به کار رفته روشن سازیم و سپس به ادامه بحث پردازیم.

به شرایط آبی جو هوا می‌گویند. شرایط جوی با مجموعه متغیرهای جوی تعریف می‌شود که در ایستگاه‌های هواسنجی اندازه‌گیری می‌شوند. برای اندازه‌گیری هر متغیر جوی، یا دستگاهی وجود دارد (مانند دما، بارش، رطوبت و ...) و یا قراردادی وضع شده است که دیده‌بان بر اساس آن قرارداد متغیر جوی را می‌سنجد (مانند ابر). در ایستگاه‌های هواسنجی اندازه‌گیری‌های جوی در فواصل زمانی ثابت و به‌طور همزمان انجام می‌گیرد. در واقع،

دیده بان در هر بار دیده بان‌های یک هوا را می‌خواند. البته تعداد و نوع متغیرهایی که می‌توانند بیانگر هوای یک محل باشند، متفاوت است و اقلیم‌شناس از راه انجام تحلیل‌های آماری درمی‌یابد که چه متغیرهایی در تمایز هواهای یک محل معین نقش معنادار بازی می‌کنند و چه متغیرهایی نقش معنادار ندارند. به بیان دیگر، یک هوا برداری استونی از متغیرهایی است که در تمایز هواهای یک محل معین نقش معنادار دارند؛ مثلاً هر سطر از آرایه جدول ۲ می‌تواند نماینده‌ی یک هوا باشد. یک گونه هوا دربرگیرنده همه هواهایی است که از دیدگاه آماری آنقدر با یکدیگر همانندی داشته باشند که بتوان آنها را در یک گروه جا داد. بنابراین، دو گونه هوا معرف دو نوع شرایط جوی مختلف است. هر گونه هوا را می‌توان حاصل حاکمیت یک الگوی گردشی معین دانست؛ هرچند کاملاً محتمل است که یک الگوی گردشی معین در نقاط جغرافیایی مختلف گونه‌های هوای متفاوتی ایجاد کند. الگوی گردشی دربرگیرنده‌ی همه آرایش‌های گردشی (بر روی نقشه‌ی هم‌فشار یا نقشه‌ی هم‌ارتفاع ژئوپتانسیل) است که از دیدگاه آماری به اندازه کافی به یکدیگر شباهت داشته باشند. یک نقشه‌ی هم‌فشار یا نقشه‌ی هم‌ارتفاع ژئوپتانسیل را یک آرایش گردشی می‌نامیم، چون جریان هوا کم‌وبیش در راستای خطوط هم‌فشار یا خطوط هم‌ارتفاع ژئوپتانسیل برقرار می‌شود. باتوجه به ارتباطی که بین الگوهای گردشی و گونه‌های هوا وجود دارد، مطالعه رابطه گردش‌های جوی با رویدادهای محیط سطحی که هدف اصلی اقلیم‌شناسی همدید است آسان‌تر می‌شود. به کمک مفهوم گونه هوا درک تغییرات اقلیمی نیز آسان‌تر می‌شود. از این منظر، تغییر اقلیم همان کاهش یا حذف فراوانی یک گونه هوا به بهای افزایش فراوانی یا ظهور یک گونه هوای دیگر است. شناسایی گونه‌های هوا و بررسی فراوانی آنها می‌تواند دلیل بروز برخی پدیده‌های اقلیمی همچون خشکسالی را روشن کند. دوام یک گونه هوای گرم و خشک می‌تواند به معنی بروز خشکسالی باشد یا رخداد یک گونه هوای سرد در زمانی که به‌طور معمول انتظار مشاهده آن نمی‌رود، می‌تواند به معنی بروز سرمازدگی باشد. این‌طور که پیداست، مفهوم گونه هوا موضوع ساده‌ای نیست که در کنار دیگر مقولات اقلیم‌شناسی همدید قرار گیرد؛ بلکه مفهومی کلیدی است که تا حد یک نظریه ارزش و

ظرفیت دارد. در پرتو این نظریه مفاهیم نوینی می‌زاینند و مفاهیم و مقولات اقلیمی موجود تعریف تازه‌ای پیدا می‌کنند و مفهومی نو می‌یابند.

پیشینه

از آنجا که یکی از اهداف اصلی اقلیم‌شناسی همدید، شناسایی گونه‌های هواست ادبیات، اقلیم‌شناسی از این جهت غنی است. (کالکستاین و همکاران، ۱۹۹۸:۱۲۳۵) برای بررسی تغییرات اقلیمی از روش تحلیل توده‌های هوا بهره برده‌اند. ایشان بر این باورند که تحلیل فراوانی توده‌های هوا نسبت به تحلیل روند متغیرهای اقلیمی ابزار سودمندتری برای تبیین تغییرات اقلیمی است. (کونویاندجونز ۱۹۹۸:۳۹۵) سه روش مختلف شناسایی گونه‌های هوای بریتانیا را با یکدیگر مقایسه کرده و نشان دادند که همبستگی گونه‌های هوایی که با توجه به تاوایی بدست آمده‌اند، با روزهای بارانی قوی‌تر بوده است. (لیتمن ۱۹۶۹:۲۰۰۰) به کمک تحلیل خوشه‌ای داده‌های فشار و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را طبقه‌بندی و رابطه‌ی گونه‌های همدید حاصله را با بارش‌های حوضه‌ی مدیترانه بررسی کرده است. او ۲۰ گونه هوای مختلف را شناسایی کرده و معتقد است این گونه‌ها الگوی بارش مدیترانه را تا اندازه‌ی زیادی تبیین می‌کنند. (کریچاک و همکاران ۲۰۰۰:۲۱۵) رابطه الگوهای گردشی و دوره‌های پربارش و کم بارش شرق مدیترانه را بررسی کرده‌اند. ایشان نشان داده‌اند که ناهنجاری‌های فشار تراز دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال تبیین کننده‌ی رخداد دوره‌های پربارش و کم بارش شرق مدیترانه است. (فولر و کیلسبی ۱۹۹۱:۲۰۰۲) رابطه‌ی خشکسالی‌های هیدرولوژیک منطقه یورکشایر بریتانیا با گونه‌های هوای لامب را بررسی کرده و دریافته‌اند که خشکسالی‌ها گاهی حاصل شرایط جوی هستند و بنابراین با گونه‌های هوا رابطه نشان می‌دهند و گاهی حاصل سوء مدیریت هستند و ارتباطی با گونه‌های هوا ندارند. (شریدان ۲۰۰۲:۶۶) روش طبقه‌بندی همدید مکانی را از جهات مختلف بازننگری کرده و معتقد است این روش ابزار سودمندی برای مطالعات محیطی است. وی همچنین رابطه‌ای قوی بین گونه‌های هوای امریکای شمالی و شاخص‌های پیوند از دور (نوسان اطلس

شمالی *NAO* و اقیانوس آرام - امریکای شمالی) یافته است (شریدان ۲۰۰۳:۴۳). (راینهام و همکاران ۲۰۰۵:۳۵۸) به کمک طبقه‌بندی همدید مکانی به تبیین مرگ و میر در شهر تورنتو کانادا پرداخته‌اند. بررسی ایشان نشان داد که در مجموع کیفیت هوا (آلودگی هوا) تابعی از گونه همدید است اما برای درک رابطه‌ی شرایط جوی و سلامتی، مطالعات بیشتری لازم است. (بیسولی و همکاران ۲۰۰۶:۱۳) پس از مطالعه گونه‌های هوا، در آلمان و مقایسه‌ی آن با رخدادهای توفند نتیجه می‌گیرند که بین فراوانی روزهای توفندی و گونه هوا وابستگی معنادار وجود دارد. (مورایتو و همکاران ۲۰۰۶:۵۶) به روش همدید به بررسی رابطه‌ی بین گونه‌های هوای زمستانه فلورانس ایتالیا با بروزحمله قلبی پرداختند و نشان دادند که هر چند به علل محدودیت‌های روش‌شناختی نمی‌توانند یافته‌های خود را به دیگر مناطق جغرافیائی تعمیم دهند، اما به نظر می‌رسد بین گونه‌های هوا و رخداد سکنه‌ی قلبی در فلورانس ارتباط آماری وجود دارد.

داده‌ها

توده‌هوا حجم بزرگ و یکپارچه‌ای از هواست که به اندازه‌ی کافی بر روی سطحی معین استقرار داشته و خصوصیات سطح زیر خود را کسب کرده است (استال ۲۰۰۰:۲۵۲). توده‌هواها را معمولاً بر حسب دو متغیر طبقه‌بندی می‌کنند: دمای بالقوه و رطوبت. طبق تعریف مقدار این دو متغیر در سراسر یک توده‌هوا کم و بیش یکدست است. با این حال معیارهای دیگری نیز مبنای طبقه‌بندی توده‌هواها قرار می‌گیرند که از آن جمله‌اند: دید افقی، غلظت گرد و غبار، غلظت گرده گیاهان، غلظت آلاینده‌ها، غلظت مواد رادیواکتیو، غلظت هستک‌های چگالش، ابرناکی، پایداری ایستا و تلاطم (استال ۲۰۰۰:۲۵۳).

یک گونه هوا نماینده‌ی هوایی است که از نظر متغیرهای جوی متمایز، به اندازه کافی همانند یکدیگرند. اگر تحلیل گونه‌های هوا در بازه روزانه انجام گیرد، یک گونه هوا در برگرفته روزهایی است که از هوای همانندی برخوردار بوده‌اند. ظهور یک گونه هوا در یک محل معین از یک سو به توده هوایی بستگی دارد که به محل وارد شده و از سوی دیگر

بازتاب شرایط جغرافیایی (ناهمواری، همسایگی با توده‌های آب، ..) آن محل است. چون شرایط جغرافیایی محل معمولاً ثابت است تفاوت گونه‌های هوایی که در یک محل یکی پس از دیگری می‌آیند و می‌روند تابع توده‌های هوایی است که به محل وارد می‌شوند. بنابراین بین سری زمانی (زیچ) گونه‌های هوای محل با توده هوایی که منطقه‌ی بزرگی شامل محل مورد نظر را می‌پوشاند مرتبط است. بر اساس همین منطق است که در ادبیات اقلیم‌شناسی پس از تحلیل ایستگاهی گونه‌های هوا در بُعد زمانی، تحلیل مکانی گونه‌های هم‌دید جای خود را باز کرده است (کالکستاین و همکاران (۱۹۹۶:۹۸۳)).

بر اساس آنچه، گفته شد برای شناسایی گونه‌های هوا باید آن دسته از متغیرهای جوی را به کار گرفت که نماینده شرایط دمایی و رطوبتی جو باشند. از میان متغیرهای مختلفی که در ایستگاه همدید اصفهان اندازه‌گیری می‌شوند ۲۲ متغیر برگزیده شد که فهرست آنها در جدول ۱ آمده است. این متغیرها به این دلیل برگزیده شده‌اند، که هم نماینده شرایط دمایی و رطوبتی جو هستند و هم مقدار آنها در ایستگاه‌های کلیماتولوژی نیز اندازه‌گیری می‌شود. به این ترتیب گ. نه‌های هوا را می‌توان بر اساس متغیرهای مشترک برای تعداد زیادتری از ایستگاه‌های هواسنجی بدست آورد و با یکدیگر مقایسه کرد. مقدار این ۲۲ متغیر از ۱۳۳۹/۱۰/۱۱ تا ۱۳۸۳/۱۰/۱۱ در آرایه‌ای با آرایش P (متغیرهای جوی بر روی ستون‌ها و روزها بر روی سطرها) فراهم شد (جدول ۲). بنابراین آرایه‌ی داده‌ها به ابعاد $۲۲ * ۱۶۰۷۱$ آماده شد.

چون داده‌ها دارای دامنه و یکاهای مختلفی هستند پیش از انجام تحلیل انجام استانداردسازی ضروری است تا وزن همه‌ی متغیرها در تفکیک گونه‌های هوا یکسان باشد. چون در اینجا هدف ما تنها هم وزن کردن متغیرها بود از رابطه‌ی زیر برای استانداردسازی بهره بردیم:

$$std_{ij} = \frac{Data_{ij} - Min_j}{Max_j - Min_j} \quad (1)$$

std_{ij} مقدار استاندارد شده‌ی متغیر j ام در روز i ام؛ $Data_{ij}$ مقدار متغیر j ام در روز i ام؛ Min_j مقدار کمینه‌ی متغیر j ام؛ Max_j مقدار بیشینه‌ی متغیر j ام.

پس از استانداردسازی سطرهایی که دارای نبود آماری بودند (ولو بر روی یک متغیر) از آرایه حذف شدند و به این ترتیب آرایه‌ی نهایی به ابعاد $۲۲ * ۱۵۹۴۰$ بدست آمد ($stnd_{15940,22}$). این آرایه مبنای محاسبه‌ی فواصل اقلیدسی قرار گرفت.

روش شناسایی گونه‌های هوا

چون قبل از انجام دسته‌بندی هیچ ایده‌ای درباره‌ی تعداد گونه‌های هوا نداریم انجام تحلیل خوشه‌ای برای شناسایی گونه‌های هوا عملی به نظر می‌رسد. در این صورت مثلاً k متغیر متعلق به یک روز (t_1) با k متغیر متعلق به روزی دیگر (t_2) تک تک بایکدیگر مقایسه می‌شوند تا درجه‌ی همانندی آنها با یکدیگر آشکار شود. سپس تمامی t ها برحسب درجه‌ی همانندی با یکدیگر خوشه می‌شوند. بنابراین در یک تحلیل خوشه‌ای دوگام اساسی وجود دارد. گام اول محاسبه‌ی درجه‌ی همانندی افراد با یکدیگر است و گام دوم چگونگی ادغام افراد برحسب درجه همانندی آنها با یکدیگر.

جدول ۱) فهرست داده‌های پایه برای شناسایی گونه‌های همدید ایستگاه اصفهان

| ردیف | نماد | شرح | یکا |
|------|-------|--|-------------|
| ۱ | DRY03 | دمای خشک ساعت سه زولو (ساعت ۶/۵ محلی) | درجه سلسیوس |
| ۲ | DRY09 | دمای خشک ساعت نه زولو (ساعت ۱۲/۵ محلی) | درجه سلسیوس |
| ۳ | DRY15 | دمای خشک ساعت پانزده زولو (ساعت ۱۸/۵ محلی) | درجه سلسیوس |
| ۴ | DRYMD | میانگین روزانه دمای خشک | درجه سلسیوس |
| ۵ | WET03 | دمای تر ساعت سه زولو (ساعت ۶/۵ محلی) | درجه سلسیوس |
| ۶ | WET09 | دمای تر ساعت نه زولو (ساعت ۱۲/۵ محلی) | درجه سلسیوس |
| ۷ | WET15 | دمای تر ساعت پانزده زولو (ساعت ۱۸/۵ محلی) | درجه سلسیوس |
| ۸ | WETMD | میانگین روزانه دمای تر | درجه سلسیوس |
| ۹ | MAXDT | بیشینه دمای روزانه (دمای روز هنگام) | درجه سلسیوس |
| ۱۰ | MENDT | میانگین دمای شبانروز | درجه سلسیوس |
| ۱۱ | MINDT | کمینه دمای روزانه (دمای شب هنگام) | درجه سلسیوس |
| ۱۲ | RRRMD | ارتفاع بارش روزانه | میلیمتر |

| | | | |
|------|--|-------|----|
| درصد | درصد نم نسبی ساعت سه زولو (ساعت ۶/۵ محلی) | RHM03 | ۱۳ |
| درصد | درصد نم نسبی ساعت نه زولو (ساعت ۱۲/۵ محلی) | RHM09 | ۱۴ |
| درصد | درصد نم نسبی ساعت پانزده زولو (ساعت ۱۸/۵ محلی) | RHM15 | ۱۵ |
| درصد | میانگین روزانه درصد نم نسبی | RHMMD | ۱۶ |
| گره | سرعت باد در ساعت سه زولو (ساعت ۶/۵ محلی) | M03 | ۱۷ |
| گره | سرعت باد در ساعت نه زولو (ساعت ۱۲/۵ محلی) | M09 | ۱۸ |
| گره | سرعت باد در ساعت پانزده زولو (ساعت ۱۸/۵ محلی) | M15 | ۱۹ |
| درجه | سمت باد در ساعت سه زولو (ساعت ۶/۵ محلی) | A03 | ۲۰ |
| درجه | سمت باد در ساعت نه زولو (ساعت ۱۲/۵ محلی) | A09 | ۲۱ |
| درجه | سمت باد در ساعت پانزده زولو (ساعت ۱۸/۵ محلی) | A15 | ۲۲ |

جدول ۲) نمونه سطرهای ابتدا و انتهای آرایه‌ی داده‌ها

| YEAR | MONTH | DAY | DRY03 | DRY09 | DRY15 | DRYMD | WET03 | WET09 | WET15 | WETMD | MAXDT | MENDT | MINDT | RRRMD | RHM03 | RHM09 | RHM15 | RHMMD | M03 | M09 | M15 | A03 | A09 | A15 |
|------|-------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-------|-------|-------|
| 1339 | 10 | 11 | 4.6 | 7.0 | 6.4 | 2.0 | 7.0 | 2.4 | 2.4 | 1.2 | 10.0 | 2.5 | 5.0 | 0.0 | 30.0 | 40.0 | 45.0 | 47.8 | 2.0 | 2.0 | 4.0 | 270.0 | 90.0 | 90.0 |
| 1339 | 10 | 12 | 5.0 | 3.6 | 6.0 | 2.4 | 6.5 | 1.0 | 3.0 | 0.6 | 8.0 | 1.5 | 5.0 | 0.0 | 62.0 | 61.0 | 59.0 | 57.6 | 2.0 | 5.0 | 5.0 | 220.0 | 90.0 | 130.0 |
| 1339 | 10 | 13 | 2.6 | 9.0 | 7.6 | 5.8 | 0.6 | 3.5 | 2.4 | 1.8 | 11.0 | 3.5 | 4.0 | 0.0 | 68.0 | 33.0 | 35.0 | 45.9 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 230.0 | 90.0 | 270.0 |
| 1339 | 10 | 14 | 0.0 | 8.6 | 6.0 | 4.5 | 2.8 | 2.6 | 1.5 | 0.5 | 9.0 | 4.0 | 1.0 | 0.0 | 48.0 | 29.0 | 37.0 | 43.4 | 0.0 | 5.0 | 3.0 | 0.0 | 270.0 | 360.0 |
| 1339 | 10 | 15 | 4.4 | 6.0 | 5.0 | 1.5 | 5.8 | 1.8 | 0.5 | 1.5 | 9.0 | 1.5 | 6.0 | 0.0 | 67.0 | 43.0 | 91.0 | 58.8 | 2.0 | 2.0 | 5.0 | 270.0 | 270.0 | 90.0 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 1383 | 10 | 7 | 2.0 | 4.8 | 3.0 | 2.5 | 0.4 | 1.4 | 0.8 | 0.2 | 5.8 | 3.7 | 1.6 | 0.0 | 74.0 | 54.0 | 66.0 | 64.6 | 0.0 | 4.0 | 6.0 | 0.0 | 30.0 | 300.0 |
| 1383 | 10 | 8 | 1.6 | 2.2 | 0.4 | 0.2 | 3.0 | 2.0 | 2.4 | 2.9 | 4.4 | 1.2 | 2.0 | 0.0 | 72.0 | 36.0 | 52.0 | 54.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 1383 | 10 | 9 | 5.8 | 2.4 | 0.6 | -1.0 | 6.8 | 2.2 | 2.6 | 3.7 | 6.0 | 0.2 | 6.4 | 0.0 | 71.0 | 31.0 | 46.0 | 53.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 1383 | 10 | 10 | 6.6 | 3.2 | 5.4 | 0.4 | 7.0 | -1.0 | 1.2 | 2.2 | 9.4 | 1.1 | 7.2 | 0.0 | 84.0 | 40.0 | 43.0 | 59.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 1383 | 10 | 11 | 3.4 | 8.6 | 10.2 | 4.8 | 4.0 | 3.8 | 5.0 | 1.4 | 15.0 | 5.3 | 4.4 | 0.0 | 84.0 | 43.0 | 42.0 | 58.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

بسته به روشی که برای محاسبه درجه‌ی همانندی و چگونگی ادغام انتخاب می‌کنیم یک تحلیل خوشه‌ای را می‌توان به شیوه‌های مختلفی اجرا کرد. برای محاسبه‌ی درجه‌ی همانندی روش‌های مختلفی پیشنهاد شده است که برخی از آنها عبارتند از: فاصله‌ی اقلیدسی، فاصله‌ی همبستگی، فاصله‌ی همینگ، فاصله‌ی ماهالانویس، فاصله‌ی مینکوسکی، فاصله‌ی کوسینوسی، فاصله‌ی بلوک‌شهری، فاصله‌ی جاکارد و فاصله‌ی چیشف. روشن است که برای n مشاهده

فاصله قابل محاسبه است. فرض کنید بردار مشاهدات بر روی r و s بردار

$$\frac{n(n-1)}{2}$$

مشاهدات بر روی s باشد در این صورت فواصل اقلیدسی به صورت زیر محاسبه می‌شوند.

$$d_{rs}^2 = (X_r - X_s)(X_r - X_s)' \quad (2)$$

در مطالعات اقلیمی غالباً برای محاسبه‌ی درجه‌ی ناهمانندی (همانندی) از روش فاصله‌ی اقلیدسی استفاده می‌شود. در مواردی که مقیاس اندازه‌گیری متغیرها متفاوت و دارای دامنه‌های مختلفی باشند استفاده از فاصله‌ی اقلیدسی استاندارد شده توصیه می‌شود.

پس از اندازه‌گیری درجه‌ی همانندی باید شیوه‌ای برای ادغام اقلامی که بالاترین همانندی را نشان داده‌اند بکار برد. شیوه‌های مختلفی برای ادغام معرفی شده‌اند که از آن جمله‌اند: پیوند تکی، پیوند کامل، پیوند متوسط، پیوند وزنی، پیوند مرکزی، پیوند میانه و پیوند وارد. در روش وارد گروه‌های r و s در صورتی ادغام می‌شوند که افزایش پراش ناشی از ادغام آنها نسبت به ادغام هریک از آنها با دیگر گروه‌ها کمینه باشد یعنی:

$$d(r,s) = \frac{n_r n_s d_{rs}^2}{(n_r + n_s)} \quad (۳)$$

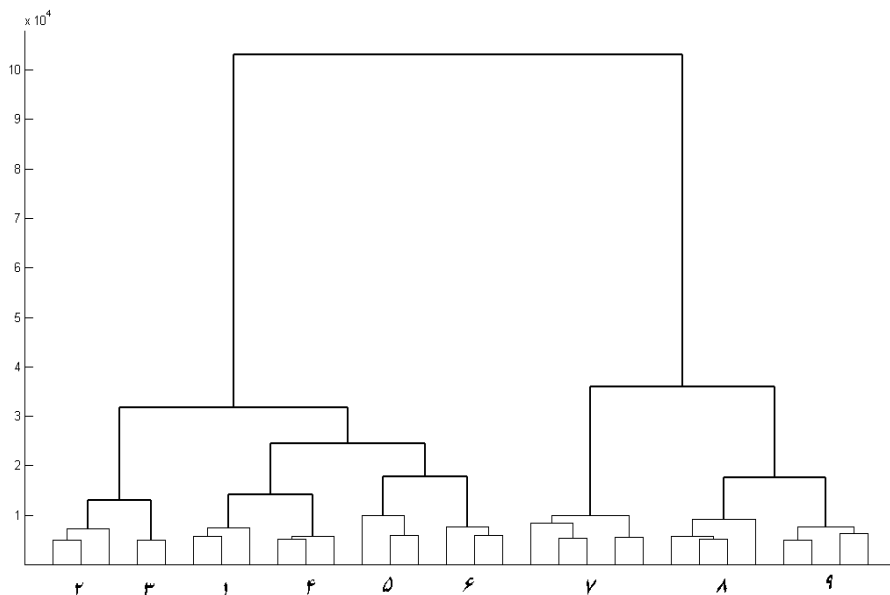
در اینجا d_{rs}^2 فاصله‌ی بین گروه r و گروه s است که به روش پیوند مرکزی بدست آمده باشد.

در مطالعات اقلیم‌شناختی عمدتاً از روش ادغام وارد استفاده می‌شود زیرا در این صورت میزان پراش درون‌گروهی به حداقل می‌رسد و همگنی گروه‌های حاصله بیشینه می‌شود.

گونه‌های هوای اصفهان

انجام یک تحلیل خوشه‌ای بر روی فواصل اقلیدسی آرایه‌ی استاندارد داده‌های جوی اصفهان ($std_{15940,22}$) و ادغام روزها به روش وارد نشان داد که اصفهان دارای نه گونه هوای متمایز (شکل ۱) به شرح زیر است:

| | | | | |
|--|---|------------------------|---|----------------------|
| گونه سرد، یخبندان، آرام | ۴ | گونه سرد، یخبندان، خشک | ۷ | گونه معتدل |
| گونه بسیار سرد، یخبندان، آرام، مه‌آگین | ۵ | گونه سرد، بادی | ۸ | گونه گرم و خشک |
| گونه بارش‌مند | ۶ | گونه بادی | ۹ | گونه بسیار گرم و خشک |



شکل ۱) دارنمای نه گونه هوای اصفهان

۱- گونه سرد، یخبندان، آرام

این گونه‌ی هوا از میانه‌ی آبان تا پایان اسفند (شکل ۱-۲، جدول ۳) یعنی حدود ۹ درصد از روزهای سال فعال است. دمای روز حدود ده درجه سلسیوس و در شب حدود ۲/۵- درجه سلسیوس است. در ۸۶ درصد اوقاتی که این گونه هوا رخ می‌دهد یخبندان پدید می‌آید (جدول ۳). در دهه‌ی هشتاد فراوانی این گونه هوا افزایش نسبی نشان داده است (شکل ۱-۳) با این که رخداد مه در اصفهان اندک است اما در ۲ درصد مواردی که این گونه هوا دیده می‌شود مه پگاهی رخ می‌دهد. با این حال پس از طلوع آفتاب، نم نسبی به شدت کاهش می‌یابد و هوا خشک می‌شود.

۲- گونه بسیار سرد، یخبندان، آرام، مه آگین

این گونه هوا از اوایل آذر تا اوایل اسفند دیده می‌شود (شکل ۲-۲) در زمان حاکمیت این گونه هوا که در ۴/۴ روزهای سال دیده می‌شود اصفهان سردترین روزهای خود را سپری

می‌کند. میانگین دمای روزانه نزدیک به صفر است و در نیمروز به ۵ درجه سلسیوس نمی‌رسد و در هنگام شب از ۴- درجه سلسیوس هم سردتر است. در ۹۵ درصد اوقاتی که این گونه هوا رخ می‌دهد اصفهان با یخبندان روبرو می‌شود. بالاترین احتمال رخداد مه پگاهی به این گونه هوا تعلق دارد. تقریباً در ۵ درصد روزهای حاکمیت این گونه هوا مه پگاهی رخ می‌دهد (جدول ۳). از سوی دیگر تقریباً در یک چهارم مواردی که این گونه هوا حاکم است احتمال رخداد بارش نیز می‌رود. فراوانی این گونه هوا در دهه‌ی ۶۰ یک افزایش نسبی داشته است (شکل ۲-۳).

۳- گونه بارش مند

این گونه هوا از اوایل آبان تا نیمه‌ی دوم فروردین دیده می‌شود (شکل ۳-۲). هرچند فراوانی آن از همه‌ی گونه‌های هوای دیگر کمتر است اما گونه هوا بسیار مهمی است زیرا در ۷۵ درصد موارد با بارش همراه است و میانگین بارش در هر روز بارشی نزدیک به ۶ میلیمتر است. از دیدگاه احتمال رخداد مه پگاهی نیز (۴/۴ درصد) در جایگاه دوم قرار دارد. میانگین دمای روزانه ۷ درجه سلسیوس است که در طول شبانه روز ۳ تا ۱۱ درجه سلسیوس تغییر می‌کند (جدول ۳). پس این گونه هوا از نظر دمایی سرد به شمار می‌رود. اصولاً فراوانی این گونه هوا در کل دوره‌ی مورد مطالعه زیر ۵ درصد بوده است (شکل ۳-۳).

۴- گونه سرد یخبندان، خشک

این گونه هوا از ۱۶ آبان تا ۲۳ فروردین دیده می‌شود. فراوانی آن یک بار ۲۶ بهمن و بار دیگر در ۵ آذر به اوج می‌رسد (شکل ۴-۲). یخبندان مهم‌ترین پدیده‌ای است که با این گونه هوا همراه بوده است. در ۷۰ درصد رخدادهای این گونه هوا یخبندان نیز دیده می‌شود. دمای شبانه روز بین ۱- تا ۱۳ درجه سلسیوس در نوسان است. با وجود هوای سرد نم نسبی بسیار پایین است و به طور متوسط به ۴۰ درصد هم نمی‌رسد (جدول ۳). این هوای سرد و خشک

در ۸ درصد روزهای سال در اصفهان دیده می‌شود. بررسی سری سالانه‌ی فراوانی رخداد این گونه هوا بیانگر رفتاری شبه تناوبی است (شکل ۴-۳).

۵- گونه سرد بادی

در فصول گذار یعنی فصل پاییز و بهار و دقیق‌تر بگوییم از ۱۱ مهر تا ۲۵ اردیبهشت هوای سرد همراه با وزش باد در اصفهان دیده می‌شود (شکل ۵-۲). این نوع هوا دو اوج نشان می‌دهد یک اوج اصلی در ۲۲ آبان و یک اوج فرعی در اول فروردین. در زمان حاکمیت این گونه هوا که فراوانی آن حدود ۱۰ درصد است دما بین ۴/۵ درجه تا ۱۶/۵ درجه سلسیوس در طی شبانه روز نوسان می‌کند (جدول ۳) و با گذشت روز بر سرعت باد افزوده می‌شود. به نظر می‌رسد در طی دهه‌های گذشته از فراوانی این گونه هوا کاسته شده است (شکل ۵-۳).

۶- گونه بادی

این گونه هوا در فصول گذار دیده می‌شود. از ۱۵ مهر تا ۱۷ اردیبهشت امکان مشاهده این گونه هوا وجود دارد (شکل ۶-۲). اوج فراوانی این گونه هوا یکی در ۴ فروردین و دیگری در ۱۶ آبان است. بویژه در هنگام بعدازظهر شدیدترین بادهایی که در اصفهان دیده می‌شود در هنگام حاکمیت این گونه هوا رخ می‌دهد (جدول ۳). احتمال وزش باد در زمان حاکمیت این گونه هوا نزدیک به ۶۰ درصد است که نسبت به دیگر گونه‌های هوا بالاترین مقدار را دارد. این گونه هوا به طور متوسط در ۹ درصد اوقات سال دیده می‌شود اما فراوانی آن در دهه‌های گذشته به نسبت کاهش یافته است (شکل ۶-۳).

۷- گونه معتدل

هوای اصفهان در اواخر تابستان و اوایل پاییز از یک سو و اواخر زمستان و تا نزدیکی‌های اواخر بهار می‌تواند از اعتدال برخوردار باشد. همچنین از ۴ شهریور تا ۲۷ آبان

ماه که در ۲۳ مهر به اوج خود می‌رسد و از ۱ اسفند تا ۲۳ خرداد که در ۲ اردیبهشت به اوج خود می‌رسد این گونه هوا دیده می‌شود (شکل ۷-۲). دما در این هنگام پس از ۱۱ تا ۲۵ درجه سلسیوس نوسان می‌کند (جدول ۳) در زمان حاکمیت این گونه هوا تقریباً هم‌هی متغیرهای جوی به مقادیر میانگین کل نزدیک‌تر است بنابراین از نظر رطوبت، باد، احتمال بارش و دما شرایط جوی متوسط بر اصفهان حاکم است. این گونه هوا به طور متوسط در ۱۷ درصد اوقات سال دیده می‌شود. در طی دهه‌های گذشته فراوانی این گونه هوا از ثبات چشمگیری برخوردار بوده است (۷-۳).

۸- گونه گرم و خشک

این گونه هوا از فراوانی دو قله‌ای برخوردار است. دوره‌های فعالیت آن از ۱۰ فروردین تا ۱ آبان که یک بار در ۲۷ شهریور و بار دیگر در ۳۰ اردیبهشت به اوج خود می‌رسد. در زمان حاکمیت این گونه هوا دما بین ۱۵/۵ تا ۳۱ درجه‌ی سلسیوس نوسان می‌کند (شکل ۸-۲). نم‌نسبی در این زمان به ۲۵ درصد هم نمی‌رسد (جدول ۳). فراوانی این گونه هوا در دهه‌های گذشته رفتاری شبه تناوبی داشته است (شکل ۸-۳). در طی حاکمیت این گونه هوا تنها در ساعات اولیه‌ی صبح بیش از طلوع خورشید هوا اندکی ملایم است و پس از آن گرم و خشک می‌شود. در ۱۴ درصد موارد اصفهان یک چنین هوایی را تجربه می‌کند.

۹- گونه بسیار گرم و خشک

این گونه هوا فراوان‌ترین هوای قابل مشاهده در اصفهان است تقریباً در یک چهارم اوقات سال چنین هوایی بر اصفهان حاکم است. از ۲۵ اردیبهشت تا ۷ مهر دوره‌ی فعالیت این گونه هوا است و در ۱۵ تیر که به اوج فراوانی خود می‌رسد هرگز هوایی جز هوای بسیار گرم و خشک دیده نشده است (۹-۲). دما بین ۲۰ تا ۳۶ درجه سلسیوس در طی شبانه روز تغییر می‌کند (جدول ۳). رطوبت نسبی به کمترین مقدار خود می‌رسد. در طی دهه‌های اخیر فراوانی این گونه هوا در اصفهان به نسبت افزایش یافته است (شکل ۹-۳).

همگنی گونه‌های هوا

هر گونه هوا شامل هواهایی است که هر چند به یکدیگر شبیه‌اند اما برابر نیستند. به همین سبب همواره با مسئله‌ی پراش درون‌گروهی دست به گریبانیم. پراش درون‌گروهی آنقدر مهم است که می‌تواند معیار ارزشمندی یا بی‌ارزشی طبقه‌بندی باشد. شاخص‌های گوناگونی برای اندازه‌گیری همگنی درون‌گروهی وجود دارد. ریشه‌ی دوم میانگین مربعات خطا یکی از این شاخص‌هاست که به‌صورت زیر تعریف می‌شود.

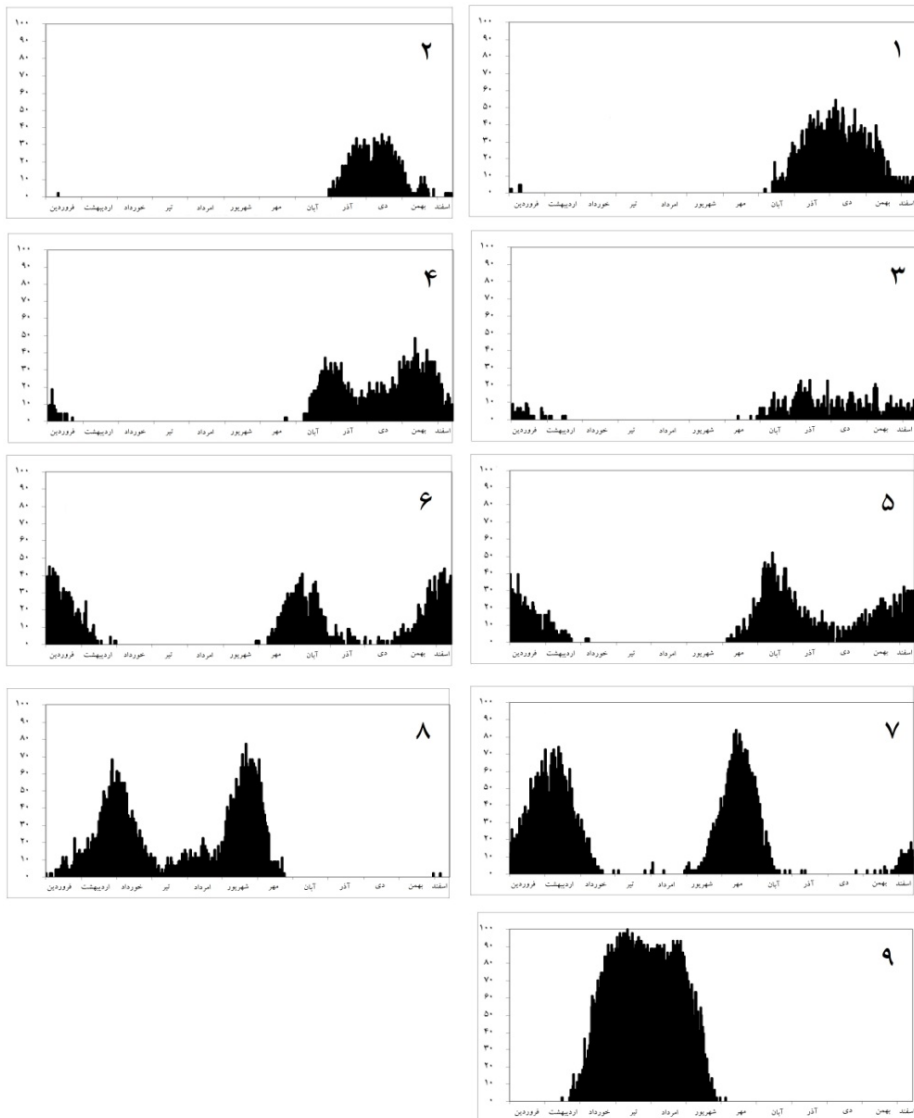
$$RMSE_i = \sum_{j=1}^{22} \sqrt{\frac{1}{n_i} \sum_{d=1}^{n_i} [Data_{ijd} - Avg_{ij}]^2} \quad (۴)$$

Avg_{ij} میانگین متغیر j ام روی گروه i ام

$Data_{ijd}$ میانگین متغیر j ام روی گروه i ام در روز d ام

n_i تعداد هواهای عضو گروه i ام

هوای بسیار گرم و خشک که فراوان‌ترین هوای اصفهان است همگن‌ترین هوا هم هست. از سوی دیگر هوای سرد و خشک و یخبندان نیز از همگنی زیادی برخوردار است (جدول ۳). این ویژگی نشان می‌دهد که اصفهان دارای دو فصل مشخص سرد و گرم است و در فصول گذار هواهایی دیده می‌شوند که با همگروه‌های خود همانندی کمتری دارند.



شکل ۲) درصد فراوانی روزانه نه گونه هوای اصفهان

جدول ۳ ویژگی‌های آماری گونه‌های هوای اصفهان

| شماره گونه هوا | درصد فراوانی وقوع | درصد بارش | درصد احتمال یخبندان | درصد احتمال مه پگانهی روزبارشی | میانگین بارش در وزش | درصد احتمال وزش | زمان آغاز گونه هوا | زمان اوج گونه هوا | زمان پایان گونه هوا | RMSSE |
|----------------|-------------------|-----------|---------------------|--------------------------------|---------------------|-----------------|----------------------|--------------------------|---------------------|-------|
| ۱ | ۸/۹ | ۷/۱ | ۸۶/۴ | ۲/۱ | ۱/۶ | ۳۲/۹ | آبان/۲۱ | دی/۱۸ | ۲۹/اسفند | ۸۷/۳ |
| ۲ | ۴/۴ | ۲۷/۲ | ۹۵/۳ | ۵/۴ | ۳/۹ | ۲۸/۳ | آذر/۹ | دی/۲۸ | ۹/اسفند | ۹۷/۶ |
| ۳ | ۳/۷ | ۷۴/۷ | ۱۲/۵ | ۴/۴ | ۵/۷ | ۴۳/۱ | آبان/۶ | آذر/۲۳ | ۲۱/فروردین | ۱۰۹/۵ |
| ۴ | ۸/۲ | ۱/۸ | ۷۰/۳ | ۰/۴ | ۱/۰ | ۴۶/۹ | آبان/۱۶ | بهمن/۲۶ آذر/۵ | ۲۳/فروردین | ۸۱/۵ |
| ۵ | ۱۰/۲ | ۲۷/۴ | ۹/۹ | ۰/۷ | ۲/۹ | ۴۹/۴ | مهر/۱۱ | آبان/۲۲ فروردین/۴ | ۲۵/اردیبهشت | ۱۰۹/۸ |
| ۶ | ۹/۲ | ۲/۹ | ۲/۲ | ۰/۱ | ۱/۱ | ۵۸/۶ | مهر/۱۵ | فروردین/۴ آبان/۱۶ | ۱۷/اردیبهشت | ۹۹/۷ |
| ۷ | ۱۷/۰ | ۸/۱ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۱/۶ | ۵۴/۱ | ۴/شهریور ۱۰/اسفند | ۲۳/مهر ۴/اردیبهشت | ۲۷/آبان ۲۳/خرداد | ۹۷/۰ |
| ۸ | ۱۴/۰ | ۲/۵ | ۰/۰ | ۰/۲ | ۱/۵ | ۵۵/۰ | ۱۰/فروردین | ۲۷/شهریور ۳۰/اردیبهشت | ۱/آبان | ۸۴/۷ |
| ۹ | ۲۴/۴ | ۰/۳ | ۰/۰ | ۰/۱ | ۰/۶ | ۵۶/۶ | ۲۵/اردیبهشت | ۱۵/تیر | ۷/مهر | ۶۶/۵ |
| میانگین | | ۹/۶ | ۱۹/۴ | ۰/۱۲ | ۳/۳ | | | | | |

جدول ۳ دنباله

| میانگین دمای خشک | دمای خشک | میانگین دمای خشک | دمای خشک | میانگین دمای تر | دمای تر | میانگین دمای تر | دمای تر | میانگین دمای پیشینه | میانگین دمای روزانه | میانگین دمای کهنه |
|------------------|----------|------------------|----------|-----------------|---------|-----------------|---------|---------------------|---------------------|-------------------|
| ۱ | -۲/۰ | ۷/۴ | ۶/۲ | ۳/۴ | -۳/۲ | ۲/۷ | ۲/۰ | ۰/۳ | ۱۰/۲ | ۳/۸ |
| ۲ | -۲/۹ | ۲/۵ | ۱/۵ | -۰/۳ | -۴/۶ | ۰/۰ | -۰/۴ | -۱/۹ | ۴/۸ | -۰/۲ |
| ۳ | ۴/۰ | ۸/۵ | ۷/۷ | ۴/۴ | ۲/۹ | ۵/۸ | ۵/۳ | ۴/۴ | ۱۱/۰ | ۷/۱ |
| ۴ | -۰/۴ | ۱۰/۳ | ۹/۲ | ۵/۸ | -۲/۹ | ۳/۶ | ۲/۸ | ۰/۹ | ۱۲/۳ | ۶/۱ |
| ۵ | ۵/۲ | ۱۴/۱ | ۱۴/۷ | ۱۰/۲ | ۳/۳ | ۷/۹ | ۷/۰ | ۵/۸ | ۱۶/۵ | ۱۰/۶ |
| ۶ | ۵/۹ | ۱۶/۹ | ۱۵/۵ | ۱۲/۲ | ۱/۹ | ۷/۷ | ۶/۹ | ۵/۳ | ۱۹/۴ | ۱۲/۳ |
| ۷ | ۱۱/۵ | ۲۲/۷ | ۲۱/۴ | ۱۸/۰ | ۷/۱ | ۱۲/۱ | ۱۱/۳ | ۹/۹ | ۲۵/۱ | ۱۷/۹ |
| ۸ | ۱۶/۴ | ۲۸/۱ | ۲۷/۵ | ۲۳/۳ | ۹/۵ | ۱۴/۳ | ۱۴/۱ | ۱۲/۴ | ۳۰/۷ | ۲۳/۰ |
| ۹ | ۲۱/۲ | ۳۳/۱ | ۳۳/۴ | ۲۸/۴ | ۱۲/۱ | ۱۶/۶ | ۱۶/۷ | ۱۴/۸ | ۳۵/۸ | ۲۸/۰ |
| میانگین | ۱۰/۳ | ۲۰/۸ | ۲۰/۰ | ۱۶/۴ | ۵/۴ | ۱۰/۴ | ۹/۹ | ۸/۳ | ۲۲/۴ | ۱۶/۴ |

جدول ۳ دنباله

| میانگین بارش روزانه | نم نسبی | نم نسبی | نم نسبی | نم نسبی روزانه | سرعت باد | سرعت باد | سرعت باد | جهت باد | جهت باد | جهت باد |
|---------------------|---------|---------|---------|----------------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|
| ۱ | ۰/۱ | ۷۵/۲ | ۴۰/۱ | ۴۴/۶ | ۵/۸ | ۵۵/۴ | ۵/۹ | ۶/۶ | ۲۴۱ | ۱۸۳ |
| ۲ | ۱/۱ | ۸۲/۶ | ۶۱/۷ | ۶۹/۰ | ۴/۴ | ۷۲/۵ | ۵/۰ | ۵/۲ | ۲۲۶ | ۱۹۷ |
| ۳ | ۴/۲ | ۸۴/۳ | ۶۸/۳ | ۶۹/۵ | ۶/۲ | ۷۴/۳ | ۷/۲ | ۷/۸ | ۲۰۴ | ۱۸۵ |
| ۴ | ۰/۰ | ۵۵/۳ | ۲۵/۷ | ۲۶/۸ | ۵/۰ | ۳۷/۸ | ۶/۶ | ۷/۴ | ۲۴۵ | ۱۹۵ |
| ۵ | ۰/۸ | ۷۳/۱ | ۳۹/۴ | ۴۱/۶ | ۶/۴ | ۵۲/۵ | ۸/۲ | ۹/۵ | ۲۲۹ | ۱۹۶ |
| ۶ | ۰/۰ | ۴۷/۶ | ۲۱/۳ | ۲۲/۴ | ۸/۶ | ۳۱/۴ | ۱۰/۳ | ۱۰/۳ | ۲۲۶ | ۲۰۹ |
| ۷ | ۰/۱ | ۵۲/۵ | ۲۳/۹ | ۳۴/۴ | ۵/۷ | ۳۴/۴ | ۷/۸ | ۹/۸ | ۲۴۱ | ۱۹۶ |
| ۸ | ۰/۰ | ۳۷/۴ | ۱۷/۴ | ۱۸/۳ | ۵/۰ | ۲۴/۶ | ۷/۱ | ۸/۱ | ۲۴۸ | ۱۸۸ |
| ۹ | ۰/۰ | ۳۰/۱ | ۱۴/۲ | ۱۴/۲ | ۵/۰ | ۱۹/۶ | ۷/۲ | ۷/۶ | ۲۳۷ | ۱۴۹ |
| میانگین | ۰/۳ | ۵۱/۳ | ۲۶/۹ | ۲۸/۴ | ۵/۸ | ۳۶/۳ | ۷/۵ | ۸/۴ | ۲۳۷ | ۱۸۱ |

تنوع روزانه‌ی گونه‌های هوا

چنانکه در تبیین فراوانی ماهانه‌ی رخداد گونه‌های هوا دیدیم هر گونه هوا تمایل دارد در زمان‌های ویژه‌ای فعال شود. به بیان دیگر گونه‌های هوا دارای رفتار فصلی هستند. به همین دلیل است که برخی گونه‌های هوا با گونه‌های دیگر ناسازگارند و با برخی گونه‌ها سازگاری زیادی نشان می‌دهند. با این حال گونه‌هایی هم وجود دارند که بتوانند پس از هر گونه هوای دیگری ظاهر شوند و نقش پل ارتباطی میان الگوهای ناسازگار را بازی می‌کنند. این دو نوع رفتار مختلف از یک سو می‌تواند به این معنا باشد که در برخی روزهای سال تنها باید انتظار مشاهده‌ی گونه هوای معینی را داشت و از سوی دیگر به این معناست که در برخی از روزها چندین گونه هوا می‌توانند ظاهر شوند. مثلاً فرض کنید در روز پانزدهم تیر در طی ۴۴ سال مورد بررسی از میان نه گونه هوا همواره گونه هوای بسیار گرم و خشک دیده شده باشد. در این صورت در آینده هم برای این روز انتظار مشاهده‌ی همین الگو را داریم. چنین روزی از نظر گونه هوا باثبات به شمار می‌آید و از تنوع گونه هوا برخوردار نیست. در چنین روزهایی شرایط جوی از ثبات برخوردار است. در مقابل در روز ۲۷ اسفند در طی ۴۴ سال هفت گونه هوا از نه گونه هوای اصفهان مشاهده شده است. در این صورت احتمال مشاهده‌ی هفت گونه هوا در این روز در آینده هم وجود دارد (شکل ۴).

اندازه‌گیری درجه تنوع گونه‌های هوا در هر یک از روزهای سال گذشته از ارزش نظری از لحاظ عملی نیز به پیش‌بینی کمک می‌کند. به همین جهت در اینجا کوشش می‌کنیم سنج‌های برای اندازه‌گیری درجه‌ی تنوع روزانه‌ی گونه‌های هوا معرفی کنیم. این نکته نیز شایان توجه است که در اوقاتی از سال که شرایط جوی بسیار بی‌ثبات است و گونه‌های هوا یکی پس از دیگری آشکار و ناپدید می‌شوند حتی ممکن است در طی یک روز چندین بار گونه هوا و شرایط جوی تغییر کند. بنابراین از لحاظ نظری این امکان هم وجود دارد که درجه‌ی تنوع گونه‌های هوا در مقیاس کوتاه‌تر از روزانه هم تعریف شود. مثلاً در یک روز بهاری شرایط جوی صبح، نیمروز، عصر و شب ممکن است کاملاً متباین باشد. در اینجا چون

مبنای طبقه بندی گونه‌های هوا، داده‌های روزانه بوده است درجه‌ی تنوع گونه‌های هوا را برای مقیاس روزانه تعریف می‌کنیم.

فرض کنید به هر یک از روزهای سال بتوان یک گونه هوای معین را نسبت داد و فرض کنید m گونه هوای مختلف وجود داشته باشد. بعلاوه فرض کنید N سال مختلف را بررسی می‌کنیم. اگر n_{ij} فراوانی گونه هوای i ام در روز j ام باشد آنگاه می‌توان نوشت.

$$R_{ij} = \frac{n_{ij}}{N} \times 100 \quad (5)$$

که n_{ij} درصد فراوانی گونه هوای i ام در روز j ام است. در این صورت درجه تنوع گونه‌های هوا را به صورت زیر تعریف می‌کنیم.

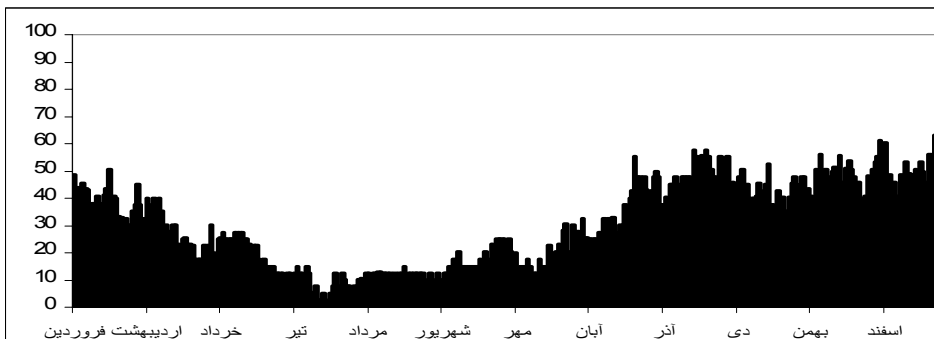
$$D_i = 1 - \frac{1}{K} \sum_{j=1}^m \left| R_{ij} - \frac{100}{m} \right| \quad (6)$$

که K عبارت است از :

$$K = 200 \frac{m-1}{m} \quad (7)$$

در مورد مسئله‌ی مورد نظر ما تعداد گونه‌های هوا برابر نه ($n=9$) و تعداد سال‌های مورد بررسی ۴۴ سال ($N=44$) است. بدین صورت D_i درجه تنوع گونه‌های هوا برای روز i ام را بدست می‌دهد. i برای سال‌های معمولی بین یک تا ۳۶۵ و برای سال‌های کبیسه بین ۱ تا ۳۶۶ تغییر می‌کند.

برای روزی که در تمام سال‌های مورد بررسی همواره دارای یک گونه هوا بوده است مقدار D برابر صفر خواهد بود. به بیان دیگر این روز معین تنها یک گونه هوا را می‌پذیرد و از تنوع گونه هوا برخوردار نیست. در مقابل برای روزی که همه گونه‌های هوا را پذیرفته و درصد فراوانی وقوع همه‌ی گونه‌های هوا در آن یکسان بوده است مقدار D برابر یک بدست می‌آید؛ یعنی چنین روزی از حداکثر تنوع گونه‌های هوا برخوردار است. بنابراین مقدار D بین صفر تا یک تغییر می‌کند. مقدار صفر معرف یکدستی کامل و مقدار یک معرف تنوع کامل رخداد گونه‌های هوا در یک روز معین است.



شکل ۴) درصد تنوع رخداد گونه‌های هوا در هر روز سال

پیاپی

یکی از ویژگی‌های مهم گونه‌های هوا چگونگی پیاپی آنهاست. مقصود از پیاپی تعداد دفعاتی است که یک گونه هوا پس از خود یا پس از یک گونه هوای دیگر دیده می‌شود. با بررسی پیاپی می‌توان گونه‌های هوای ناسازگار و گونه‌های هوای پی‌آیند را شناسایی کرد. گونه هوای i را ناسازگار با گونه هوای j می‌نامیم هرگاه هرگز پس از مشاهده گونه هوای i گونه هوای j مشاهده نشود. بررسی پیاپی گونه هوای سرد و یخبندان و آرام روشن می‌سازد که این گونه هوا با گونه‌های هوای معتدل، گرم و خشک و بسیار گرم و خشک ناسازگار است. از سوی دیگر محتمل‌ترین گونه هوا پس از مشاهده‌ی گونه هوای سرد و یخبندان و آرام، گونه هوای سرد و یخبندان و خشک است (جدول ۴). ویژگی مهم دیگری که با شمارش پیاپی گونه‌های هوا می‌توان تشخیص داد میزان تداوم هر گونه هوا است. طبیعی است که احتمال مشاهده یک گونه هوا پس از رخداد همان گونه هوا بیشتر است، زیرا گونه‌های هوای همانند تمایل دارند از پی هم ظاهر شوند. حتی برخی از گونه‌های هوا که حد واسط گونه‌های هوای کاملاً متباین هستند وظیفه گذار را بر عهده می‌گیرند.

اگر فراوانی وقوع هر گونه هوا، پس از گونه هوای دیگر (پیاپی) را برحسب درصد بیان کنیم معیاری از یکپارچگی گونه‌های هوا به دست می‌آوریم. مثلاً فرض کنید گونه هوای بسیار گرم و خشک در طی ۳۸۸۵ روز دیده شده و در همه موارد به جز یک بار (در آخرین

روزی که مشاهده شده) همواره پس از خود تکرار شده باشد در این صورت این الگو در طول دوره ۴۴ ساله یک بار و به مدت ۳۸۸۵ روز رخ داده است و از یکپارچگی کامل برخوردار است در صورتی که می‌توانست مثلاً ۳۹۳ بار و هر بار تقریباً به مدت ده روز روی دهد که در این صورت از یکپارچگی کمتری برخوردار بود. این الگو در ۹۰ درصد موارد پس از خود تکرار شده است (جدول ۴). این ویژگی را به شکل دقیق‌تری نیز می‌توان بیان کرد. اگر N تعداد روزهایی باشد که یک گونه هوا مشاهده شده و n تعداد دفعات مشاهده‌ی آن گونه هوا باشد آنگاه شاخص رخداد OI را به صورت زیر تعریف می‌کنیم.

$$OI = 1 - \frac{n}{N} \quad (۸)$$

در مورد گونه‌های هوای کاملاً گسسته این شاخص برابر صفر و برای الگوهای کاملاً پیوسته برابر $1 - \frac{1}{N}$ خواهد بود. شاخص رخداد گونه هوای بارش‌مند حدود ۰/۳۷ است. این گونه هوا در طی دوره ۴۴ ساله ۳۷۲ بار رخ داده است (جدول ۵) و هر بار حدود ۱/۶ روز دوام داشته است. مدت دوام هر گونه هوا را در هر بار رخداد به نام پایداری آن گونه هوا می‌شناسیم. بالاترین پایداری این گونه هوا ۱۵ روز بوده است.

در مقابل ویژگی‌های پایداری رخداد، می‌توان ویژگی‌های رخداد هر گونه هوا را نیز بررسی کرد. همچنان که ویژگی‌های رخداد معلوم می‌سازد که در صورت ظهور یک گونه هوا تا چند روز باید انتظار ماندگاری آن را داشت ویژگی‌های رخداد نیز معلوم می‌کند که پس از پایان یک گونه هوا چه مدت باید سپری شود تا آن گونه هوا دوباره ظاهر شود. بنابراین واژه‌ی رخداد در مقابل واژه‌ی رخداد قرار می‌گیرد.

میانگین رخداد گونه هوای بارش‌مند حدود ۴۱ روز است. طولانی‌ترین دوره‌ی رخداد این گونه هوا ۳۷۳ روز به طول انجامیده است. گونه هوای بارش‌مند پس از ظهور حدود ۱/۶ روز دوام می‌آورد و سپس به مدت ۴۱ روز ناپدید می‌شود تا دوباره ظاهر شود (جدول ۶).

جدول (۴) درصد پیاپی گونه‌های هوای اصفهان

| شماره | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ | ۹ |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| ۱ | ۵۱/۹ | ۲۷/۲ | ۱۷/۹ | ۱۷/۸ | ۹/۰ | ۰/۶ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |
| ۲ | ۱۴/۱ | ۶۳/۲ | ۶/۱ | ۰/۸ | ۰/۸ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |
| ۳ | ۹/۴ | ۶/۶ | ۳۶/۵ | ۲/۷ | ۸/۲ | ۰/۹ | ۰/۴ | ۰/۰ | ۰/۰ |
| ۴ | ۱۴/۵ | ۲/۱ | ۸/۵ | ۵۶/۱ | ۹/۴ | ۱۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ |
| ۵ | ۹/۳ | ۰/۸ | ۲۲/۷ | ۱۲/۱ | ۴۸/۵ | ۱۶/۵ | ۶/۲ | ۰/۰ | ۰/۰ |
| ۶ | ۰/۹ | ۰/۰ | ۵/۶ | ۱۰/۲ | ۱۳/۰ | ۵۶/۳ | ۸/۷ | ۰/۶ | ۰/۰ |
| ۷ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۲/۶ | ۰/۲ | ۱۱/۰ | ۱۴/۴ | ۷۰/۳ | ۱۷/۷ | ۰/۱ |
| ۸ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۱ | ۱/۴ | ۱۴/۲ | ۶۴/۳ | ۱۰/۰ |
| ۹ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۰ | ۰/۲ | ۱۷/۴ | ۸۹/۹ |

جدول (۵) ویژگی‌های آماری رخداد گونه‌های هوای اصفهان

| | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ | ۹ |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| میانگین پایداری | ۲/۰۸ | ۲/۷۲ | ۱/۵۸ | ۲/۲۸ | ۱/۹۴ | ۲/۲۹ | ۳/۳۶ | ۲/۸۰ | ۹/۸۹ |
| انحراف معیار | ۱/۵۹ | ۳/۳۶ | ۱/۲۴ | ۲/۲۸ | ۱/۵۸ | ۲/۰۷ | ۳/۸۶ | ۲/۶۸ | ۱۵/۳۲ |
| تغییرپذیری | ۷۷ | ۱۲۳ | ۷۹ | ۱۰۰ | ۸۲ | ۹۱ | ۱۱۵ | ۹۶ | ۱۵۵ |
| بیشینه | ۱۱ | ۲۴ | ۱۵ | ۲۱ | ۱۸ | ۱۶ | ۳۳ | ۱۹ | ۹۰ |
| کمینه | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ |
| رخداد | ۶۸۵ | ۲۶۰ | ۳۷۲ | ۵۷۱ | ۸۳۹ | ۶۴۰ | ۸۰۷ | ۷۹۶ | ۳۹۳ |
| فراوانی | ۱۴۲۳ | ۷۰۷ | ۵۸۶ | ۱۳۰۲ | ۱۶۳۰ | ۱۴۶۳ | ۲۷۱۴ | ۲۲۳۰ | ۱۱۰۰ |
| شاخص رخداد | ۰/۵۲ | ۰/۶۳ | ۰/۳۷ | ۰/۵۶ | ۰/۴۹ | ۰/۵۶ | ۰/۷۰ | ۰/۶۴ | ۰/۶۴ |

جدول (۵) ویژگی‌های آماری رخداد گونه‌های هوای اصفهان

| | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ | ۹ |
|-----------------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| میانگین پایداری | ۲۱/۲۲ | ۵۸/۵۸ | ۴۱/۲۴ | ۲۵/۶۳ | ۱۷/۰۳ | ۲۲/۵۳ | ۱۶/۲۹ | ۱۷/۰۸ | ۳۰/۳۰ |
| انحراف معیار | ۶۳/۹۸ | ۱۱۶/۹۵ | ۷۵/۷۷ | ۶۴/۴۱ | ۴۰/۶۹ | ۴۸/۵۷ | ۳۴/۸۴ | ۴۲/۹۹ | ۷۷/۷۳ |
| تغییرپذیری | ۳۰۱ | ۲۰۰ | ۱۸۴ | ۲۵۱ | ۲۳۹ | ۲۱۶ | ۲۱۴ | ۲۵۲ | ۲۵۷ |
| بیشینه | ۳۰۳ | ۳۷۳ | ۳۳۳ | ۲۸۵ | ۲۳۵ | ۲۶۶ | ۱۵۷ | ۲۲۹ | ۲۷۸ |
| کمینه | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ |
| رخداد | ۶۸۵ | ۲۶۰ | ۳۷۲ | ۵۷۱ | ۸۳۹ | ۶۴۰ | ۸۰۷ | ۷۹۶ | ۳۹۳ |
| فراوانی | ۱۴۵۱۷ | ۱۵۲۳۲ | ۱۵۳۴۳ | ۱۴۶۳۵ | ۱۴۲۸۹ | ۱۴۴۲۲ | ۱۳۱۴۳ | ۱۳۵۹۸ | ۱۱۹۰۹ |
| شاخص رخداد | ۰/۹۵ | ۰/۹۸ | ۰/۹۸ | ۰/۹۶ | ۰/۹۴ | ۰/۹۶ | ۰/۹۴ | ۰/۹۴ | ۰/۹۷ |

جمع بندی

اصفهان در طول سال هواهای گوناگونی را تجربه می‌کند. از هواهای سرد و یخبندان گرفته تا هواهای بسیار گرم و خشک. بسامد هواهای مختلف اصفهان متفاوت است. مثلاً بسامد هوای بارانی در اصفهان به چهار درصد هم نمی‌رسد در حالی که تقریباً یک چهارم سال در اصفهان هوای بسیار گرم و خشک فرمانروایی می‌کند و در چهار دهه گذشته فراوانی این نوع هوا افزایش هم یافته است. در دوره گرم سال هوا بسیار باثبات است و تنها یکی دو هوای مشخص یعنی هوای گرم و خشک و هوای بسیار گرم و خشک در اصفهان دیده می‌شود. اما در دوره سرد سال هوا بی‌ثبات‌تر است و هواهای گوناگونی از پی هم می‌آیند و می‌روند. برخی از هواهای اصفهان با هم ناسازگارند و برخی دیگر تمایل دارند از پی هم ظاهر شوند. مثلاً در اصفهان بسیار محتمل است که پس از هوای سرد و یخبندان و آرام هوای سرد و یخبندان و خشک رخ دهد اما هرگز پی از هوای سرد و یخبندان و آرام هوای گرم و خشک یا هوای بسیار گرم و خشک رخ نخواهد داد. این ویژگی بدان جهت دیده می‌شود که هر هوایی در بخش مشخصی از سال تمایل به ظهور دارد و حتی در پاره‌های مشخصی از سال هرگز رخ نمی‌دهد. آن دسته از هواهای اصفهان که در دوره‌ی گرم سال رخ می‌دهند عمر بلندتری دارند اما هواهای دوره سرد از عمر کوتاه‌تری برخوردارند. مثلاً هوای بسیار گرم و خشک اصفهان به طور متوسط تا ۱۰ روز دوام می‌آورد در حالی که عمر هوای بارشی به دو روز هم نمی‌رسد.

* این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی شماره ۸۴۰۳۰۶ دانشگاه اصفهان است

منابع:

- 1-Bissolli, Peter , Jürgen Grieser, Nikolai Dotzek, Marcel Welsch (2006), Tornados in Germany 1950–2003 and their relation to particular weather conditions, *Global and Planetary Change*, in press
- 2- Fowler, H.J., C.G. Kilsby (2002), A weather type approach to analyzing water resource drought in the Yorkshire region from 1881 to 1998, *Journal of hydrology*, 262, pp 177-192
- 3- Kalkstein LS, Nichols MC, Barthel CD, Greene JS. (1996), A new spatial synoptic classification: application to air-mass analysis. *International Journal of Climatology* 16: 983–1004.
- 4- Kalkstein, Laurence S., Scott C. Sheridan, Daniel Y. Graybeal (1998), A Determination of Character and Frequency Changes in Air Masses Using A Spatial Synoptic Classification, *International Journal of Climatology*, No.18, pp 1223–1236

- 5- Krichak, S. O. , M. Tsidulko, and P. Alpert (2000), Monthly Synoptic Patterns Associated with Wet/Dry Conditions in the Eastern Mediterranean, *Theor. Appl. Climatol.* 65,pp 215-229
- 6- Littmann, T. (2000), An empirical classification of weather types in the Mediterranean Basin and their interrelation with rainfall, *Theor. Appl. Climatol.* 66, pp 161-171
- 7- Morabito, Marco, Alfonso Crisci, Daniele Grifoni, Simone Orlandini, Lorenzo Cecchi, Laura Bacci, Pietro Amedeo Modesti, Gian Franco Gensini, Giampiero Maracchi (2006), Winter air-mass-based synoptic climatological approach and hospital admissions for myocardial infarction in Florence, Italy, *Environmental Research* 102,pp 52–60
- 8- Rainham, Daniel G. C., Karen E. Smoyer-tomic, Scott C. Sheridan, Richard T. Burnett (2005), Synoptic weather patterns and modification of the association between air pollution and human mortality, *International Journal of Environmental Health Research*, Vol. 15(No. 5), pp 347 – 360
- 9- Sheridan, Scott C. (2002), The Redevelopment of a Weather-type Classification Scheme For North America, *International Journal of Climatology*, No. 22, pp 51-68
- 10- Sheridan, Scott C. (2003), North American Weather-type Frequency and Teleconnection Indices, *International Journal of Climatology*, No. 23,pp 27–45 (2003)
- 11- Stull, R. (2000), *Meteorology for Scientists and Engineers*, Brooks/Cole, Second Edition